

FORMELSAMMLUNG



WRG + ENERGIETECHNIK

by Marcel Laube

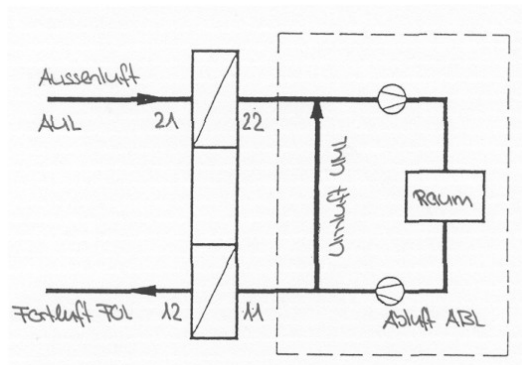
Definitionen	4
Luftarten-Bezeichnungen	4
Bauarten von Wärmerückgewinnern	4
WRG Verfahren	4
Rückwärmezahl	5
Bezogen auf die Aussenluftseite	5
Bezogen auf die Abluftseite	5
Massenstromverhältnis	5
Der Rekuperator	5
Kreislaufverbund-System (KVS)	6
Besonderheiten bezüglich Wasser-Glykol-Gemisch	6
Wärmerohr (Heatpipes)	7
Rotationswärmetauscher	8
Rückfeuchtezahl	9
Enthalpie Austauschgrad	9
Nettoenergierückgewinn	9
Jahresnutzungsgrad	9
Betriebskosten einer RLT-Anlage	10
Jahres Gesamtkosten	10
Kapitalkosten	10
Energiekosten	10
Festgebundene Kosten	10
Investitionskosten	10
Kapitalkosten	11
Annuitätsfaktor	11
Instandhaltungskosten	11
Verwaltungs- und Versicherungskosten	12
Betriebsgebundene Kosten	12
Energiekosten	12
Notwendige Brennstoffmenge	12
Brennwert + Heizwert	12
Berücksichtigung einer Teuerung	13
Mittlerer Energiepreis	13
Bedienungs- und Wartungskosten	13
Beurteilung der Wirtschaftlichkeit	14
Statische Betrachtung	14
Kapitalrückflussdauer	14
Vergleich zwischen Einsparung und Annuität	14
Amortisationszeit	14
Kapitalwert (Barwert)	14
Dynamische Betrachtung	15
Amortisationszeit	15
Restwert	15

Jährlicher Energieverbrauch	15
Stromverbrauch von Ventilatoren und Pumpen	15
Leistungsbedarf an der Welle	16
Leistungsbedarf an der Motorwelle	16
Aufgenommene Leistung	16
Erwärmung der Aussenluft	16
Erwärmung auf konstante Zulufttemperatur	17
Erwärmung teilweise mit WRG	17
Jahreswärmebedarf durch Transmission (nach Hottinger)	17
Luftbefeuchtung	18
Befeuchtungswärmeenergie	18
Aufgenommen Wassermenge	18
Abschlamm-Wassermenge	18
Kühlung der Aussenluft	19
Energieverbrauch (Kälteenergie)	19
Verdichterenergie	19
Leistungszahl (COP=Coefficient of Performance)	19
Stromverbrauch	19
Notwendige Luftmenge zur Rückkühlung	20
Kühlwassermenge (am Verflüssiger)	20
Volumenstrom der Umwälzpumpe	20
Kühlturm	20
Energiekennzahl	21
Geschossfläche GF	21
Nettogeschossfläche NGF	21
Konstruktionsfläche KF	21
Energiebezugsfläche EBF	21
Energiekennzahl	21
Spezifischer Energieverbrauch	22
Korrektur der Energiebezugsfläche	22
Bedarfsermittlung für eine Kühlung der Raumluft	23
Nachweis nach SIA 382/3	23
Bauliche Anforderungen	24
Spezialfälle mit besonderen Anforderungen an das Raumklima	24
Hohe interne Lasten	24
Maximale sommerliche Raumlufttemperatur	25
Energetisch sehr gute Anlagen	25
Das Programm SIA_03	26
Koordinaten	26
Gebäudekoordinaten	26
Raumkoordinatensystem	27
Wandkoordinatensystem	27
Beleuchtung	27
Nutzung und System	28
Nachweis	28

Definitionen

Luftarten-Bezeichnungen

Abluft	ABL	11
Fortluft	FOL	12
Aussenluft	AUL	21
Zuluft	ZUL	22



Bauarten von Wärmerückgewinnern

Temperatur Rückgewinner übertragen nur sensible Wärme und es resultiert nur eine Temperaturänderung

Enthalpie Rückgewinner übertragen auch latente Wärme. Auf der Forluft- oder auf beiden Seiten ändert sich die Feuchtegehalt der Luft

Rekuperatoren Wärme wird durch feste Trennwände übertragen

Regeneratoren Wärme wird über eine Wärmespeichermasse übertragen

WRG Verfahren

Einteilung nach SWKI 89-1 und VDI 2071:

Kategorie	Bezeichnung	Anmerkung
I	Rekuperator	Alle Trennflächen Wärmetauscher (Platten-, Röhren-, Wabentauscher)
II	Kreislaufverbund Wärmetauscher Wärmerohr Wärmetauscher	Regenerator (Wärmeträgerflüssigkeit) Regenerator (Evakuierte Rippenrohre mit Kältemittelfüllung)
III	Rotationswärmetauscher	Sorbtions Wärmetauscher mit hygroskopischer Speichermasse Kondensationswärmetauscher ohne hygroskopische Speichermasse
IV	Wärmepumpen	

- Kapillarventilatoren sind Regeneratoren, da der Rotor aus Polyurethan eine Speichermasse ist (mit der auch Feuchte übertragen werden kann)

- Umluftbetrieb gilt weder in der VDI als auch in der SWKI als WRG-System

Rückwärmezahl

Bezogen auf die Aussenluftseite

$$\phi_2 = \frac{t_{22} - t_{21}}{t_{11} - t_{21}} \quad (\text{diese Rückwärmezahl ist auf den Datenblättern eingetragen})$$

Bezogen auf die Abluftseite

$$\phi_1 = \frac{t_{11} - t_{12}}{t_{11} - t_{21}}$$

ACHTUNG: Die Rückwärmezahl ist nicht konstant und kann deshalb nicht zur Berechnung des jährlichen Wärmerückgewinns verwendet werden.

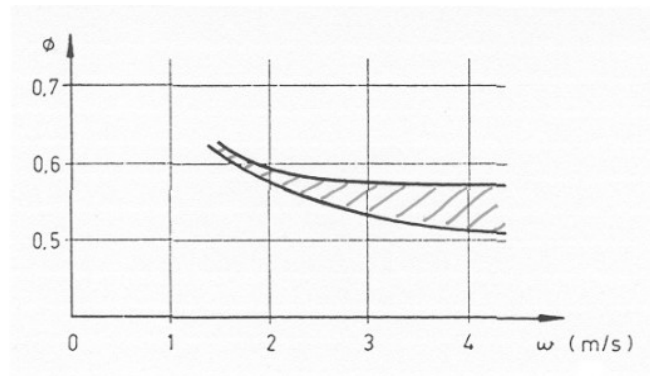
Massenstromverhältnis

$$\mu = \frac{m'_{FOL}}{m'_{AUL}}$$

Der Rekuperator

(Platten-, Waben- und Röhrentauscher)

zu erwartende Rückwärmezahlen:



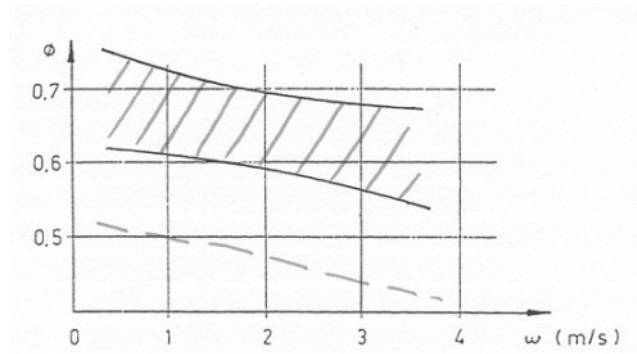
- ❖ **Rückwärmezahlen ca. 55 – 65%**
- ❖ Ist auf der **Abluftseite Kondensation** möglich, so **vergrössert** sich die **Rückwärmezahl**.
- ❖ Durch das kondensierte Wasser verringert sich jedoch der Plattenabstand => **grösserer Druckverlust**
- ❖ Weil im Tauscher eine **Temperaturschichtung** entsteht, sollte der **Ventilator** in der **Zuluft nach dem Tauscher** eingebaut werden.
- ❖ Temperaturmessungen müssen gegebenenfalls auf den **gesamten Querschnitt** verteilt werden
- ❖ Bei Kondensat-Bildung auf der Abluftseite, kann diese **einfrieren**. Wird die **Einfriergrenze** unterschritten, so sind Gegenmassnahmen zu treffen:

- **Abtatschaltung**
- **Luftvorerwärmung**
- **Einbau eines Bypasses (in der Aussenluft)**

Beim Bypass (auch zur Temperaturregelung möglich) ist darauf zu achten, dass er **etwa den selben Druckverlust** aufweist, wie der Tauscher

Kreislaufverbund-System (KVS)

Rückwärmehzahlen bis max. 75%



- Es besteht ebenfalls die Möglichkeit/Gefahr von **Kondensatbildung in der FOL** (Abfuhr des selben sicherstellen)
- Durch die geringe Temperaturdifferenz zwischen Luft und Wasser ist eine **grosse Tauscherfläche** notwendig (vier oder mehr Rohrreihen)
- Wenn bei der ABL **kein Filter** eingesetzt wird, so muss der **Rippenabstand mindestens 4-5mm** betragen
- Temperaturregelung mittels Mischventil** (ein Teil des Wassers wird am Aussenlufttauscher vorbeigeführt) **oder drehzahlgesteuerten Pumpe** möglich
- Das Ventil kann zudem zur **Verhinderung von Eis** eingesetzt werden (Minimaltemperatur des Wassers ca. -2°C)
- Bei kleinen Luftvolumenströmen ($<2000\text{m}^3/\text{h}$) ist der Installationsaufwand für ein KV-System zu hoch

Besonderheiten bezüglich Wasser-Glykol-Gemisch

Umwälzpumpe: **Herkömmliche Pumpen** sind wegen den kleinen Wassermengen und dem hohen Druckverlust (wegen der Zähigkeit des Glykols) **nicht geeignet**. Es müssen Pumpen verwendet werden, die für den Betrieb mit Wasser-Glykol bei einer Temperatur von ca. 0°C ausgelegt sind.

Glykol: Es sind **Monoäthylenglykol mit Korrosionsschutzinhibitoren** zu verwenden. Befindet sich ein Teil der Anlage im Freien, so ist der Glykolanteil zu erhöhen. Mischung von verschiedenen Marken sollte verhindert werden. Die **verwendete Glykolart ist auf der Anlage gut sichtbar zu markieren**.

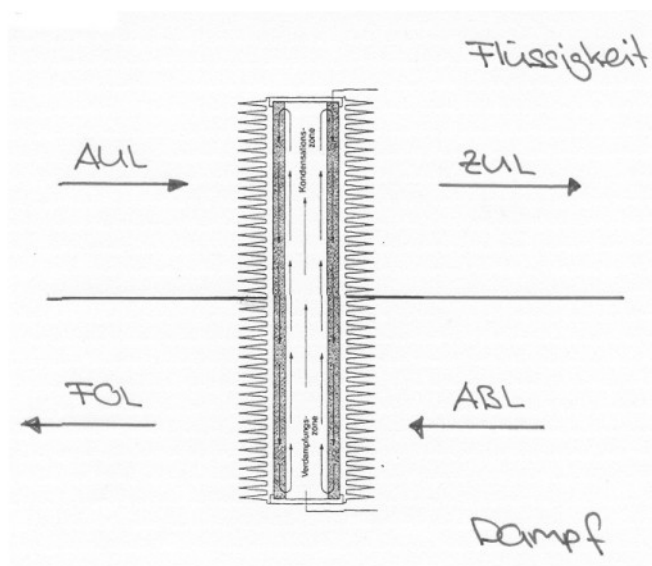
Leitungen: Geeignet sind wegen den Korrosionsschutzinhibitoren **schwarze Rohre**. Verzinkte Rohre werden zerstört. Kombinationen mit Aluminium und Kupfer sind zu vermeiden.

Armaturen: Nur für **Glykol geeignete Armaturen** verwenden. Zur Entlüftung werden grosse **Luftflaschen mit Entlüftung** vorgeschlagen. Einbau von **Schmutzfängern** ist sinnvoll (wegen Ablösung von Zunder und Rost durch das Glykol)

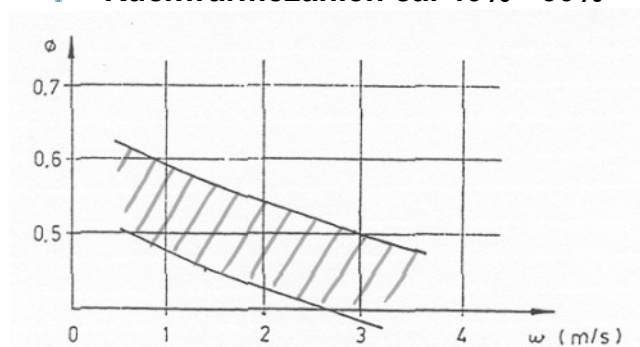
Wassermenge: Flüssigkeitsmenge muss unbedingt **genau einreguliert** werden. Es wird der Einbau eines **Durchflussmessers** empfohlen.

Kontrolle: Die **Verbrauchung der Korrosionsschutzinhibitoren** ist in den vorgeschriebenen Intervallen durchzuführen.

Wärmerohr (Heatpipes)



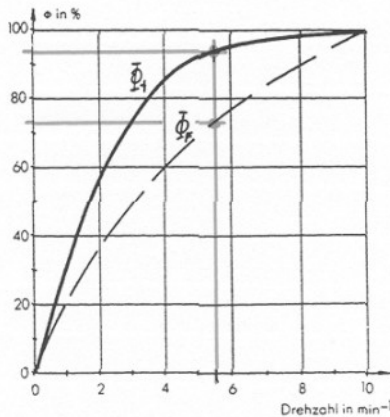
■ Rückwärmezahlen ca. 40% - 60%



■ Wärmeregulierung durch Luftbypass

Rotationswärmetauscher

↳ Rückwärmezahlen bis ca. 75%



↳ Der Rotationswärmetauscher ist ein **Regenerator**, wobei das Rad aus (meistens) Aluminium-Wabel als Speichermasse dient

↳ Es ist die Übertragung von **latenter und sensibler Wärme** möglich

↳ Es gibt **zwei Arten** von Rotationswärmetauschern:

- **Kondensations Regeneratoren**

Sie bestehen aus **Aluminium** (selten auch aus anderem nichtrostendem Material). Eine Feuchteübertragung ist nur möglich, wenn der **Taupunkt in der Abluft unterschritten** wird.

- **Sorbtiions Regeneratoren (Enthalpie Austausch)**

Sie bestehen aus Aluminium, welches **speziell behandelt** ist, damit es **hygroskopisch** wird (Keramik-, Silikagel- oder Aluminiumoxid-Beschichtung). Er überträgt **ganzjährig** latente Wärme.

↳ Die Rotationswärmetauscher hat immer **konstruktionsbedingte Leckagen**:

- Mitrotationsluft bis 3%
- Leckluft bei der Rotordichtung bis 10%

↳ Bei der Verwendung von Spülkammern muss zwischen Aussen- und Abluft ein Druckgefälle von min.200 –250 Pa bestehen, damit diese richtig funktionieren

↳ **Nachteile:**

- Wenn eine **Kontamination der Aussenluft durch die Abluft** nicht zulässig ist, ist ein Wärmetauscherrad nicht einzusetzen (ausser es wird ein Schwebstofffilter eingebaut)
- Ist die **Abluft geruchsbeladen** ist ein Regenerator nicht geeignet
- Energieverluste durch **Leckagen** müssen bei der Berechnung des **Energieertrags** berücksichtigt werden.

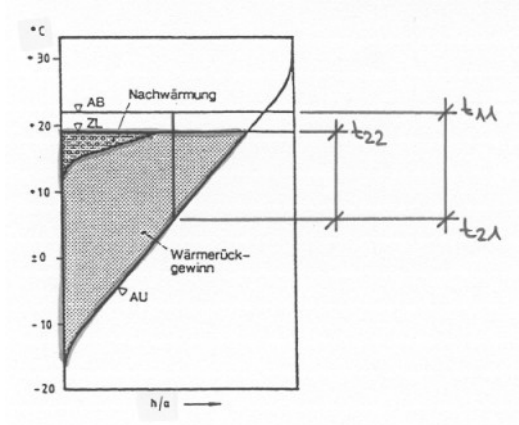
ACHTUNG: Bei der **Dimensionierung eines Luftbefeuchters** ist zu berücksichtigen, dass die notwendige Befeuchterleistung bei **mittlerer und bei minimaler Aussenlufttemperatur** bestimmt werden muss. Der **grössere Wert ist massgebend** für die Dimensionierung des Befeuchters.

Rückfeuchtezahl

Bei einer latente Wärmeübertragung reicht die Rückwärmezahl allein nicht mehr aus.

$$\phi_x = \frac{x_{22} - x_{21}}{x_{11} - x_{21}} \quad [-]$$

(Indexe-Erklärung siehe Seite 2)



Enthalpie Austauschgrad

Fasst man die Rückwärmezahl und die Rückfeuchtezahl zusammen, so erhält man den Enthalpie Austauschgrad:

$$\phi_h = \frac{h_{22} - h_{21}}{h_{11} - h_{21}} \quad [-]$$

(Indexe-Erklärung siehe Seite 2)

Nettoenergieerückgewinn

= der **jährliche Wärmerückgewinn**, abzüglich dem **Mehrbedarf an elektrischer Energie** (auch wegen höherem Druckverlust) und abzüglich allfälliger **Energieverluste durch Leckage**.

Jahresnutzungsgrad

= der jährliche **Nettoenergieerückgewinn im Verhältnis zum totalen jährlichen Wärmeenergiebedarf der Anlage ohne WRG**.

Es ist zu berücksichtigen, dass für die elektrische Energie folgendes gilt:

Wertigkeit der Winter Elektrizität = 3 * Wertigkeit der Wärmeenergie

Betriebskosten einer RLT-Anlage

Jahres Gesamtkosten

Sie sind **massgebend für die Wahl eines Anlagensystems** und daher die **Grundlage von Systemvergleichen**.

Sie setzen sich zusammen aus:

- ✚ Kapitalkosten
- ✚ Energiekosten
- ✚ Wartungs- und Bedienungskosten
- ✚ Instandhaltungskosten (Reparaturen)
- ✚ Kosten für Verwaltung und Versicherungen

Es ist auch folgende Aufteilung möglich:

- ✚ Festgebundene Kosten
 - Annuität
 - Verwaltung und Versicherungen
 - Instandhaltung
- ✚ Betriebsgebundene Kosten
 - Energie
 - Bedienung und Wartung

Kapitalkosten

= **Aufwendungen für die Verzinsung und Amortisation des investierten Kapitals**. Diese beiden Grössen werden in der Haustechnik meist **zusammengefasst** in eine gleichbleibende **Annuität**. Es gehören auch die **Nebenkosten die für die Erstellung der Anlage** notwendig sind (Anschlüsse, Platzbedarf...) zu den Kapitalkosten.

Energiekosten

= Kosten für den **elektrischen Strom, die Wärme, die Kälte und das Wasser**. Sie sind **vom Verbrauch und den Energiepreisen abhängig**. Die externen Kosten (=durch Belastung der Umwelt verursachte Kosten) und diejenigen für die graue Energie (= für die Herstellung und Entsorgung notwendige Energie) sind **nicht** enthalten.

Festgebundene Kosten

Investitionskosten

Für die Betriebskostenrechnung muss eine Aufteilung der Erstellungskosten in **Anlageteile mit gleicher Nutzungsdauer** erfolgen.

Die Nutzungsdauer **beginnt mit der Abnahme** der Anlage und **endet**, wenn die **Kosten für die Erneuerung und Reparatur von Bauteilen in keinem Verhältnis zu einer Erneuerung der Anlage stehen**.

Angaben zur Nutzungsdauer von Anlageteilen gibt es z.B. in der **SWKI 88-3** oder in der **VDI 2067**.

Zur Bestimmung (Schätzung) der Erstellungskosten gehören auch:

- Honorare
- Gebühren
- Baunebenkosten
- Raumbedarf

Kapitalkosten

$$K_K = a * I \quad [\text{Fr/a}]$$

a = Annuitätsfaktor
I = Investition [Fr]

Sie umfassen die **Verzinsung und die Abschreibung** (=der Betrag, der wegen der Wertminderung der Anlage, jedes Jahr in der Bilanz als Aufwand verbucht wird) **des investierten Kapitals**.

Ihre Grösse ist abhängig vom

- **Zinsfuss** und der
- **Nutzungsdauer**

Meist werden die Kapitalkosten mit Hilfe der Annuität berechnet. Die Annuität ist ein gleichbleibender jährlicher Betrag, welcher die Verzinsung und die Abschreibung beinhaltet.

Annuitätsfaktor

(Erklärung „Annuität“ siehe oben)

$$a = \frac{\frac{p}{100} * r^n}{r^n - 1}$$

p = Zinsfuss [%]
n = Nutzungsdauer [a]
r = Zinsfaktor

$$r = 1 + \frac{p}{100}$$

In der Fachliteratur gibt es Tabellen mit berechneten Annuitätsfaktoren (Recknagel, SWKI, VDI, Dubbel...)

Instandhaltungskosten

Sie werden meist in Prozent der Herstellungskosten, gleichmässig auf die Nutzungsdauer verteilt, berechnet.

Richtwerte:

- einfache Anlage 1 bis 2%
- Mittlerer Technisierungsgrad 2 bis 3%
- Hochtechnisierte Anlage bis 3.5%

Verwaltungs- und Versicherungskosten

Sie werden meist ebenfalls in Prozent der Herstellungskosten angegeben. Angaben über die Höhe müssen der Bauherr oder die Verwaltung geben. Auch die anteilmässigen Steuerabgaben müssen hier eingerechnet werden.

Betriebsgebundene Kosten

Energiekosten

Grundlage hierfür sind:

- jährlicher Energiebedarf
 - Energieeinheitspreise
-
- iv Die Energieeinheitspreise werden gemäss einem festzulegenden Stichtag berechnet. Wenn verlangt, können sie auch „dynamisch“ berechnet werden (anzunehmende Energieeinheitspreis-Entwicklung wird miteinbezogen).
 - iv Flüssige und feste Brennstoffe werden in der Regel als Jahresbedarf eingekauft. Bei der Berechnung der Energiekosten muss der **Zinsverlust** berücksichtigt werden. (**Empfehlung: Halber Zinsfuss einsetzen**)
 - iv Bei den Wasser-Kosten sind zusätzlich auch die Abwassergebühren und die Kosten für die Wasseraufbereitung (falls nötig) einzurechnen.

Notwendige Brennstoffmenge

$$B_a = \frac{Q_a}{H_u * \eta_a} \quad [\text{kg/a}] \text{ oder } [\text{m}^3_n/\text{a}]$$

Q_a	=	Jahres Wärmebedarf
H_u	=	Heizwert des Brennstoffes [kWh/a] oder [kWh/m ³ _n]
η_a	=	Jahreswirkungsgrad (Nutzungsgrad) für Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung (Richtwert 0.8 bis 0.85)

Brennwert + Heizwert

Brennwert H_o (früher oberer Heizwert) Gesamte Wärmeenergie, die bei einer vollständigen Verbrennung von 1kg Brennstoff als sensible und latente Wärme genutzt werden kann.

Heizwert H_u (früher unterer Heizwert) Ist der Brennwert abzüglich der Verdampfungswärme des in den Abgasen enthaltenen Wasserdampfes (latenter Anteil)

Es gilt folgender Zusammenhang:

$$H_o = H_u + r * \frac{g * h + w}{100}$$

h = Wasserstoffgehalt des
Brennstoffes [%]
w = Wassergehalt des Brennstoffes
[%]

Für die Umrechnung von Gasen (vom Normzustand auf die effektiven Bedingungen):

$$f = \frac{T_n * p}{T * p_n}$$

p = absoluter Druck des Gases an
der Messstelle
 $p = p_b + p_{\ddot{u}}$
p_b = mittlerer Barometerstand
p_ü = Netzdruck
T = mittlere Temperatur an der
Messstelle

Berücksichtigung einer Teuerung

Beim Rechnen mit einer Teuerung wird ein mittlerer Energiepreis errechnet.

Mittlerer Energiepreis

$$E_m = \frac{E_o}{n * \ln q} * (q^n - 1)$$

n = Nutzungsdauer
q = Teuerungsfaktor
 $q = 1 + \frac{s}{100}$
E₀ = Energiepreis am Stichtag
s = Kostensteigerung [%]

Bedienungs- und Wartungskosten

Sie werden meist in Prozent der Investitionskosten gerechnet.

Richtwerte:

- Einfache Anlage 1.5 bis 2%
- Mittlerer Technisierungsgrad 2 bis 3%
- Hochtechnisierte Anlage bis 5%

Beurteilung der Wirtschaftlichkeit

Statische Betrachtung

Hierbei geht man von konstant bleibenden Preisen und Löhnen aus.

Kapitalrückflussdauer

$$n_r = \frac{I^*}{e} \quad [\text{a}]$$

I^* = Mehrinvestition [Fr.]

e = jährliche Einsparung [Fr./a]

Vergleich zwischen Einsparung und Annuität

Eine Investition ist lohnend, wenn die jährliche Einsparung grösser ist als die Kapitalkosten:

$$e > I^*$$

Amortisationszeit

$$n_a = \frac{\lg \frac{e}{e - I^* * p}}{\lg r} \quad [\text{a}]$$

e = jährliche Einsparung [Fr./a]

I^* = Mehrinvestition [Fr.]

p = Zinsfuss/100 [-]

r = Zinsfaktor [-]

$$r = 1 + \frac{P}{100}$$

Kapitalwert (Barwert)

= die Summe der Einsparungen über die gesamte Nutzungsdauer. Ist der Barwert grösser als das am Anfang investierte Kapital, so ist die Lösung wirtschaftlich.

$$B = \frac{e}{a} = e \frac{r^n - 1}{\frac{P}{100} * r^n} \quad [\text{Fr.}]$$

e = jährliche Einsparung [Fr./a]

a = Annuitätsfaktor

n = Jahre [a]

P = Zinsfuss [%]

r = Zinsfaktor [-]

$$r = 1 + \frac{P}{100}$$

Dynamische Betrachtung

Hierbei wird eine Teuerung berücksichtigt (insbesondere Energiepreisteuerungen).

Amortisationszeit

$$n_a = \frac{\lg[1 + n_r(q - r)]}{\lg \frac{q}{r}} \quad [\text{a}]$$

n_r = Kapitalrückflussdauer [a]

q = Teuerungsfaktor [-]

r = Zinsfaktor [-]

$$r = 1 + \frac{P}{100}$$

Restwert

Der Wert, der ein Bauteil nach einer gewissen Nutzungsdauer noch besitzt.

$$R = \frac{P_e * n_e}{n} \quad [\text{Fr.}]$$

P_e = Ersatzpreis [Fr.]

n_e = Restnutzungsdauer [a]

n = Nutzungsdauer [a]

Jährlicher Energieverbrauch

Mögliche Methoden:

- Verwendung von Summenhäufigkeitsdiagrammen
- Abschätzung mit Hilfe der „veralteten“ SWKI 83-2
- Verwendung der VDI Unterlagen
- Verwendung einfacher Software (AHH, EconoCalc usw.)
- Verschiedene Simulationsprogramme (DOE-2, Helios usw.)
- Verwendung der Klimaflächen (Entwicklung der ETH Zürich)
- SWKI Richtlinie 95-3 (nur mit Programm DOE-2 verwendbar)

Stromverbrauch von Ventilatoren und Pumpen

Bei **Ventilatoren** ist die Anzahl der Betriebsstunden abhängig von der Nutzung der Anlage.

Bei **Pumpen** (Zirkulationspumpen) kann man normalerweise davon ausgehen, dass sie dauernd in Betrieb sind, wenn die Aussentemperatur unter der Frostschutzgrenze liegt und zusätzlich bei höheren Aussentemperaturen, wenn ein Wärmebedarf vorliegt.

Die Bestimmung der Betriebszeiten einer Interpumpe erfolgt am einfachsten mit der Tabelle „Erwärmung von Aussenluft“ der SWKI Richtlinie 83-2. Sie kann aber auch mit einem Summenhäufigkeitsdiagramm gemacht werden.

Leistungsbedarf an der Welle

$$P_V = \frac{V' * \Delta p}{\eta_v * 3600 * 1000} \text{ [kW]}$$

V'	=	Volumenstrom [m ³ /h]
Δp	=	Gesamtdruckdifferenz [Pa]
η_v	=	Wirkungsgrad (Ventilator/Pumpe)

Leistungsbedarf an der Motorwelle

$$P_W = \frac{P_V}{\eta_A} \text{ [kW]}$$

P_V	=	Leistung an der Welle
η_A	=	Wirkungsgrad Antrieb [%]

Richtwerte: Keilriemenantrieb	85...95%
Direktkupplung	100%

Aufgenommene Leistung

$$P_M = \frac{P_W}{\eta_M} \text{ [kW]}$$

P_W	=	Leistung Motorwelle
η_M	=	Wirkungsgrad Motor [%]

Angaben über Motorwirkungsgrad gibt es in der SWKI 83-2, Recknagel, VDI-Richtlinien oder Herstellerunterlagen.

Erwärmung der Aussenluft

Es kann unter folgenden Fällen unterschieden werden:

- Erwärmung der Aussenluft (bei Umluftbetrieb des Aussenluftanteils) auf eine **konstante Zulufttemperatur**, die der Raumlufttemperatur entspricht.
- Erwärmung der Aussenluft (bei Umluftbetrieb des Aussenluftanteils) auf eine **variable Zulufttemperatur**, die über der Raumlufttemperatur liegt. Dies ist immer der Fall, wenn eine **Heizlast** übernommen werden muss.
- Ein Teil der Aussenlufterwärmung erfolgt über die **WRG**. Dies ist der Regelfall.

FORMELSAMMLUNG ENERGIETECHNIK UND WRG

Erwärmung auf konstante Zulufttemperatur

$$Q_{a0} = \frac{V'}{3600} * \rho * c_p * (t_{ZUL} - t_{AUL_m}) * h_b \quad [\text{kWh/a}]$$

V' = Luftmenge [m^3/h]
 ρ = Dichte der Luft [kg/m^3]
 c_p = spez. Wärmekapazität
 t_{ZUL} = ZUL-Temperatur [K]
 t_{AUL_m} = mittl. AUL-Temperatur [K]
 h_b = Betriebsstunden [h]

Erwärmung teilweise mit WRG

$$Q_a = Q_{a0} (1 - \eta_a) \quad [\text{kWh/a}] \quad \eta_a = \text{Nutzungsgrad der WRG [-]}$$

Jahreswärmebedarf durch Transmission (nach Hottinger)

= Kompensation der Heizlast

$$Q_{a_{Tr}} = \frac{St_v * HGT * Q'}{\Delta t_{max}} \quad [\text{kWh/a}]$$

St_v = tägliche Vollbetriebsstunden
 (Hottingerzahl) [h]
 HGT = Heizgradtage [Kd]
 Q' = Heizlast [kW]
 Δt_{max} = max. Temperaturdifferenz
 Zwischen Aussen und Innen [K]

Hottingerzahlen:

Bürohaus	15 Std
Krankenhaus	15 Std
Schulen einschichtig	12...13 Std
Schule zweischichtig	14 Std
Siedlungen mit Fernheizung	16 Std
Hotels	14 Std
Lagerhäuser, Fabrikhallen	10 Std
Dauernd beheizte Kirchen	10 Std

Die obigen Werte müssen mit einem Faktor 1.2 ... 1.25 korrigiert werden, weil sich die Bauweise geändert hat.

- Stark besonnte Gebäude	weniger	1...2 Std
- schattig gelegene Gebäude	mehr	1...2 Std
- dem Wind ausgesetzte Gebäude	mehr	1...2 Std

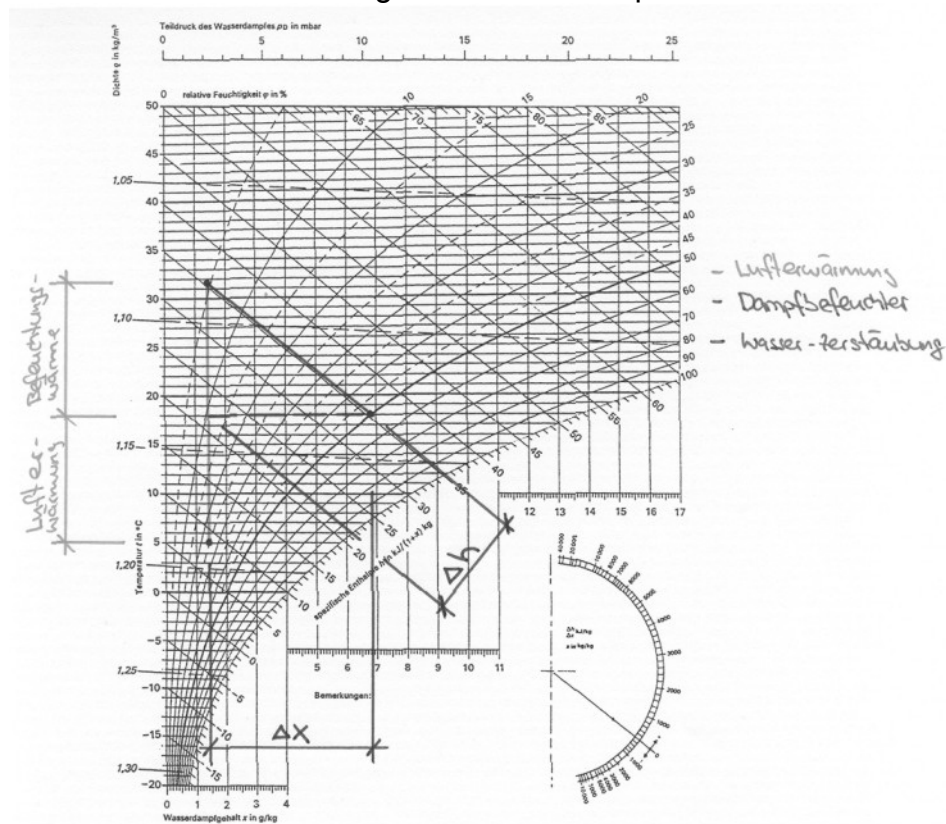
Der gesamte Heizenergiebedarf ist bei solchen Anlagen:

$$Q_{a_{Tot.}} = Q_a + q_{a_{Tr}} \quad [\text{kWh/a}]$$

Luftbefeuchtung

Es wird unterschieden zwischen:

- Verdunstung von Wasser
- Zuführung von Wasserdampf



Befeuchtungswärmeenergie

$$Q_{ba} = \frac{V'}{3600} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (h_{ZUL} - h) \cdot h_b \quad [\text{kWh/a}]$$

- V' = Luftmenge [m^3/h]
- ρ = Dichte der Luft [kg/m^3]
- c_p = spez. Wärmekapazität
- h_{ZUL} = ZUL-Enthalpie [kJ/kg]
- h = mittl. Enthalpie [kJ/kg]
- h_b = Betriebsstunden [h/a]

Aufgenommen Wassermenge

$$m_a = V' \cdot \rho \cdot (x_{ZUL} - x_{AULm}) \cdot h_b \quad [\text{kg/a}]$$

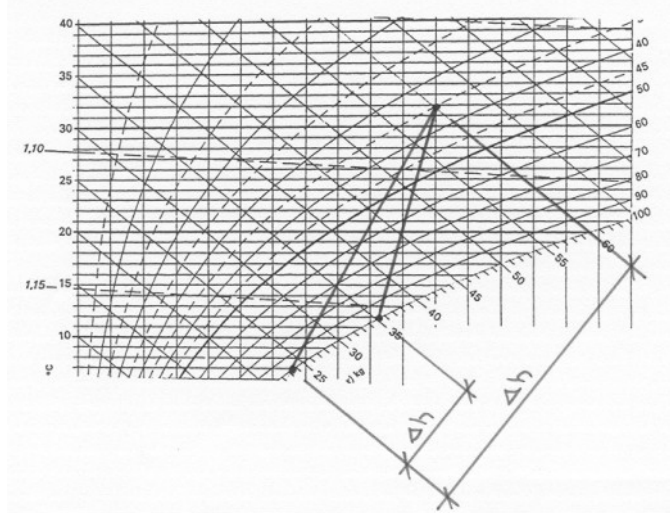
- x_{ZUL} = Abs. Feuchte der ZUL [kg/kg]
- x_{AULm} = mittl. abs. Feuchte d. AUL [kg/kg]

Abschlamm-Wassermenge

$$V_{AS} = V'_a \cdot \frac{s}{S - s} \quad [\text{m}^3/\text{a}]$$

- V'_a = Verdunstete Wasserm. [m^3/a]
- s = Härte des Zusatzwassers [$^\circ\text{F}$]
- S = Grenzwert der Wasserhärte Des Umlaufwassers [$^\circ\text{F}$]

Kühlung der Aussenluft



Energieverbrauch (Kälteenergie)

$$Q_{Ka} = \frac{V'}{3600} * \rho (h_{AULm} - h_{ZUL}) * h_b \quad [\text{kWh/a}]$$

- V' = Luftmenge [m^3/h]
 ρ = Dichte der Luft [kg/m^3]
 c_p = spez. Wärmekapazität
 h_{ZUL} = ZUL-Enthalpie [kJ/kg]
 h_{AULm} = mittl. Enthalpie der AUL [kJ/kg]
 h_b = Betriebsstunden [h/a]

Verdichterenergie

$$E_a = P * h_v \quad [\text{kWh/a}]$$

- P = Nennleist. Kältemaschine [kW]
 h_v = Vollbetriebsstunden [h/a]
 (=Jahresenergiebedarf durch Nennleistung)

Leistungszahl (COP=Coefficient of Performance)

$$\varepsilon_K = \frac{Q'_0}{P} \quad [-]$$

- Q'_0 = Verdampferleistung [kW]
 P = Antriebsleistung des Nennleistung [kW]

Stromverbrauch

$$E_v = \frac{Q_a}{\varepsilon_a} \quad [\text{kWh/a}]$$

- Q_a = Energieverbrauch [kWh/a]
 ε_a = Jahresarbeitszahl [-]

Notwendige Luftmenge zur Rückkühlung

$$V' = \frac{Q' * 3600}{\rho_L * c_{pm} * \Delta t_L} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

- Q' = Kühlleistung [kW]
 ρ_L = Dicht der Luft beim Eintritt in den Verflüssiger [kg/m^3]
 Δt_L = Temp.Diff. zwischen Eintritt und Austritt [K]

Kühlwassermenge (am Verflüssiger)

$$m' = \frac{Q' * 3600}{c_{pm} \Delta t} \quad [\text{kg}/\text{h}]$$

- Δt = Temp.Differenz zwischen Ein- und Austritt [K]

Volumenstrom der Umwälzpumpe

$$V' = \frac{m'}{\rho_m} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

- m' = Kühlwassermenge [kg/h]
 ρ_m = mittl.Dichte d.Kühlmittels [kg/m^3]

Kühlturm

Fehlen Angaben zur bestimmung der Frischwassermenge können folgende Richtwerte eingesetzt werden:

Pro 1 kW Leistung	für die Verdunstung	ca. 1.7 kg/h
	für das Spritzwasser	ca. 0.9 kg/h
	für die Abschlämmung	ca. 2.6 kg/h

Der jährlicher Nachspeisewasserbedarf ist dann:

$$V'_a = V'_F * h_V \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

- V'_F = Frischwassermenge pro Betriebsstunde [m^3/h]
 h_V = Vollbetriebsstunden des Rückkühlwerkes [h/a]

Energiekennzahl

Geschossfläche GF

= Äussere Abmessungen der begrenzenden Bauteil (auf Fussbodenhöhe). Bei schrägliegenden Flächen wird nur die Projektion angegeben.

Es werden auch folgende Bauteile dazu gerechnet:

- Vorsprünge der Aussenwand > 0.5 m²
- Aussennischen < 0.5 m²
- Lichthöfe, Treppenaugen usw. < 4 m²
- Treppen- Aufzugs- Installationsschächte voll

Nettogeschossfläche NGF

= Lichte Fertigmasse (in Fussbodenhöhe)

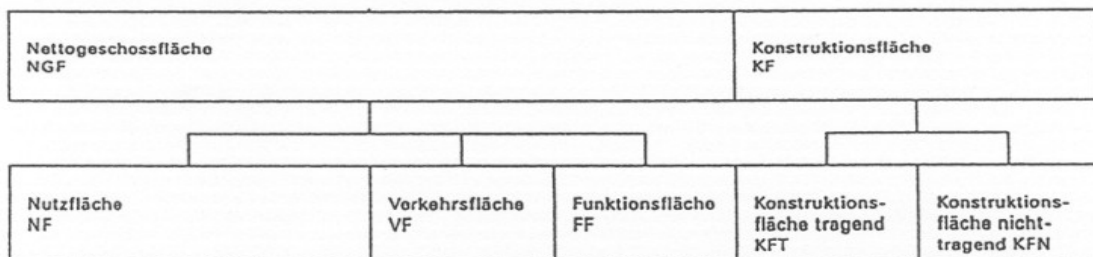
Es werden auch folgende Bauteile dazu gerechnet:

- Grundriss von Türöffnungen
- Fensternischen
- Aufzugsschächte

Konstruktionsfläche KF

$$KF = GF - NGF$$

Sowohl die NGF als auch die KF werden in der Regel noch weiter unterteilt:



Energiebezugsfläche EBF

= Summe aller Geschossflächen, für deren Nutzung ein Beheizen oder Klimatisieren notwendig ist.

Sie wird gemessen wie die Geschossfläche GF.

Energiekennzahl

= Die Summe der gesamten in einem Gebäude während eines Jahres verbrauchten Energie bezogen auf die Energiebezugsfläche.

$$E = \frac{E_a}{EGF} \text{ [MJ/a*m}^2\text{]}$$

bei fossilen Energieträgern wird die Teilenergiekennzahl mit Hilfe des verbrauchten Brennstoffes und dem Heizwert berechnet:

$$E = \frac{B \cdot Hu}{EBF} \text{ [MJ/a*m}^2\text{]} \quad B = \text{ Brennstoffverbrauch [kg/a]}$$

Spezifischer Energieverbrauch

Der Energieverbrauch eines Gebäudes muss nicht immer nur auf die Fläche bezogen werden. Es ist auch möglich diesen auf z.B.

- Anzahl Personen
- Anzahl Betten
- usw.

zu beziehen. Er muss dann jedoch immer als spezifischer Energieverbrauch angegeben werden.

Korrektur der Energiebezugsfläche

Verschiedene Klimaregionen:

$$f = \frac{HGT_x}{HGT_y}$$

Teilnutzung:

- Periodische Nutzung während der ganzen Betriebsdauer an gleich vielen Tagen pro Woche

$$f = \frac{d}{7}$$

- Zusammenhängende Nutzung während ganzer Periode in einer Heizsaison (bei Heizungsanlagen)

$$f = \frac{HGT}{HGT_a}$$

Höhere Auslegungstemperaturen

(wenn ganze Gebäudeteile (extrem) andere Temperaturen erwärmt werden)

- Höher beheizte Räume f=1.2
z.B. OP, Hallenbad
- Reduziert beheizte Räume f=0.8
z.B. Werkstatt, Sporthalle
- Temperierte Räume f=0.5
z.B. Magazine, Archiv

Grosse Raumhöhe (h>4m)

$$f = \frac{h}{h_v} \quad (h_v = \text{mittlere Höhe des übrigen Gebäudes})$$



Bedarfsermittlung für eine Kühlung der Raumluf

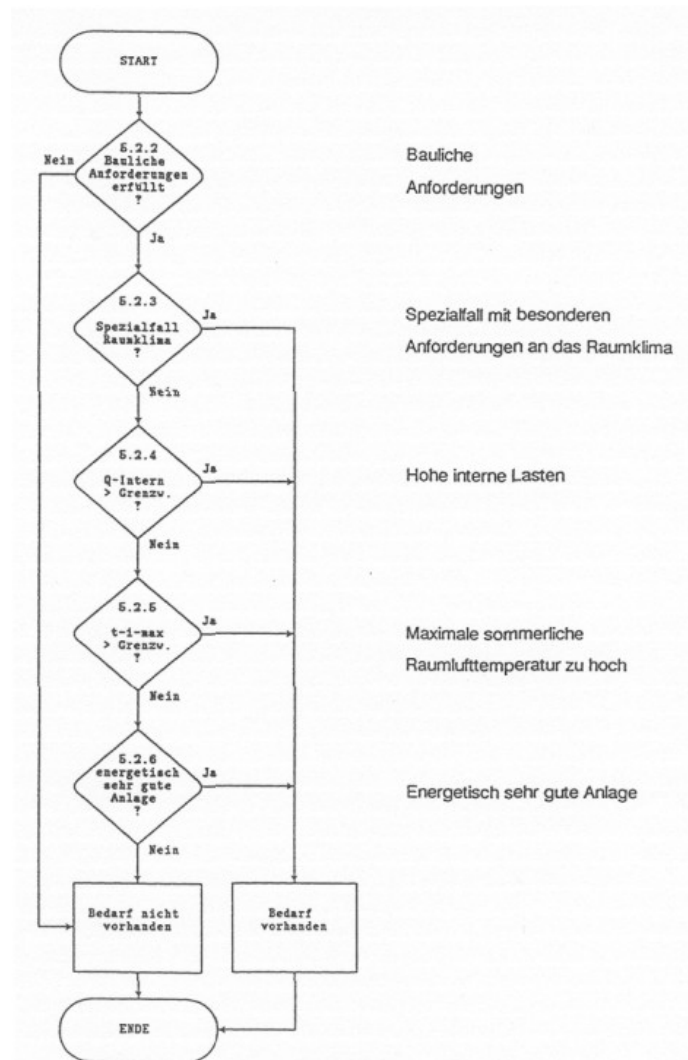
Bewilligungspflichtig sind:

- **Neue Anlagen**
- **Ersetzen einer bestehenden Anlage**

Nicht bewilligungspflichtig sind (Kanton Zürich):

- Anlagen, bei denen die Kälteleistung **direkt mit erneuerbaren Energie** bereitgestellt wird. Das heisst, ohne Einsatz einer Kältemaschine (z.B. Erdsonde, Seewasser, Kühlung im Erdreich)
- Wenn **im Sommer Wärme mittels Wärmepumpe erzeugt wird** (z.B. Warmwasser für Hotel) darf die dabei entstehende Kälte auch ohne Bedarfsnachweis der Zuluft der Lüftungsanlage übertragen werden.
- Anlagen deren vorgesehene **elektrische Leistung** für die Kälteerzeugung gesamthaft **weniger als 8kW** oder deren Wärmeleistung für die **Befeuchtung weniger als 20kW** pro Gebäude beträgt.

Nachweis nach SIA 382/3



Wenn nachgewiesen werden kann, dass mit der vorgesehenen Anlage inklusive Kühlung und Medienförderung der Gesamtenergieverbrauch kleiner ist als bei einer energetisch guten Vergleichsanlage ohne Kühlung, darf eine Kühlung eingesetzt werden. Der Nachweis muss mit einem Simulationsprogramm durchgeführt werden (1-Stunde-Rhythmus oder kleiner).

Ansonsten muss gemäss dem obigen Schema und den nachfolgenden Erläuterungen vorgegangen werden.

Bauliche Anforderungen

Folgende baulichen Anforderungen sind zu erfüllen (bei Neubauten). Bei Umbauten sind die baulichen Anforderungen anzustreben soweit diese mit einem verhältnismässigen Aufwand erreicht werden können:

- Wärmeschutz und Dichtheit der Gebäudehülle. Mindestanforderung nach SIA 180 und Einhaltung der Mindestgrenzwerte nach SIA 380/1.
- Wärmespeicherfähigkeit. Mindestens eine mittelschwere Bauweise mit einer speicherwirksamen Masse von $>350 \text{ kg/m}^2$.
- Sonnenschutz. Mindestens ein Gesamtenergiedurchlassgrad durch die Verglasung inklusive Sonnenschutz $g=0.15$
- Unterschiedliche Nutzung. Eingrenzung der zu kühlenden Bereiche durch bauliche oder betriebliche Massnahmen.
- Bei Büronutzung ein Beleuchtungskonzept mit einer maximalen Wärmebelastung des Raumes von 10 W/m^2

Spezialfälle mit besonderen Anforderungen an das Raumklima

Bei solchen Räumen oder Bereichen ist der Nachweis bereits erfüllt. Es muss nur begründet werden, warum die Anforderungen bestehen, z.B. gesetzliche Vorschriften oder spezielle Produkthanforderungen usw.

Hohe interne Lasten

Ein Bedarf an Kühlung wird als gegeben angenommen, wenn die totalen internen Lasten einen der beiden nachfolgenden Grenzwerte übersteigt:

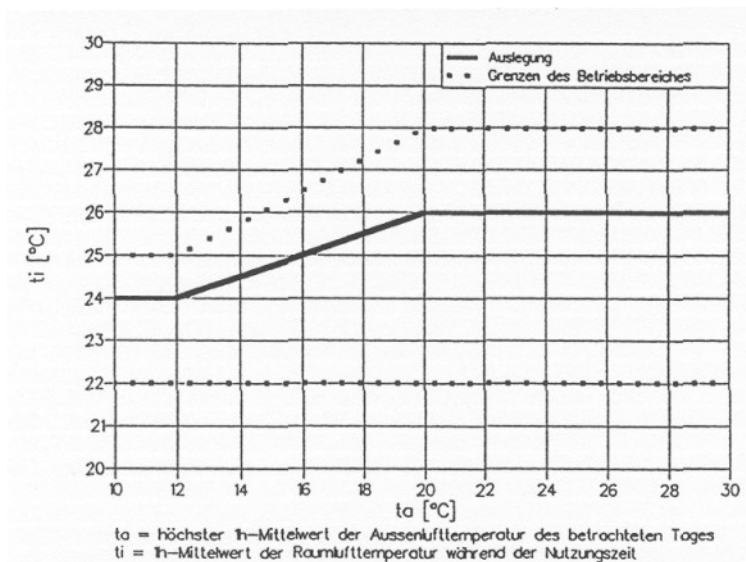
- Für Innenräume und Räume, deren Fenster aus Immissions- und/oder Sicherheitsgründen nicht geöffnet werden können:
 250 Wh/m^2 während 12h oder 350 Wh/m^2 während 24h
- Für Räume, in denen Fensterlüftung möglich ist:
 350 Wh/m^2 während 12h oder 450 Wh/m^2 während 24h

ACHTUNG: Es sind die Energiebezugsflächen EGF einzusetzen. Für Büros gelten die Lasten nach SIA 382/2 und die dort festgelegten Tagesgänge mit den folgenden Vollaststunden pro Tag.

Wärmequelle	Einzelbüro (1-2 Arbeitsplätze)	Gruppenbüro (3-6 Arbeitsplätze)	Grossraumbüro (> 6 Arbeitsplätze)
Personenwärme (Ziffer 6.1 in SIA 382/2)	9h/d	7h/d	6h/d
Beleuchtungswärme (Ziffer 6.2 in SIA 382/2)	9h/d	12h/d	12h/d
Gerätewärme (Ziffer 6.3 in SIA 382/2)	9h/d	7h/d	6h/d

Maximale sommerliche Raumlufttemperatur

Bei einer normalen **Büronutzung** ist der Bedarf erfüllt, wenn eine Kühlung erforderlich ist, damit eine **maximale Raumlufttemperatur von 28°C eingehalten** werden kann. In **Hitzetagen** (AUL > 30°C) **darf dieser Wert überschritten werden**. Der Nachweis dafür muss mit einem **Simulationsprogramm** (Rhythmus mindesten 1h) erfolgen. Der Bedarf ist gegeben, wenn in der untenstehenden Figur die Grenzkurve während **mehr als 30 Kelvinstunden pro Jahr (Kh/a)** überschritten wird.



Die Auszählung der Stundenwerte ist wie folgt definiert:

- Beobachtungsperiode: 16. April bis 15. Oktober 1987
- Nutzungszeit bei Büros gemäss SIA 382/2
- Die Raumlufttemperaturen sind den Tagesmaxima der Aussenlufttemperatur des entsprechenden Tages zugeordnet.
- Alle Werte an Hitzetagen (AUL > 30°C) werden in der Auszählung nicht berücksichtigt

Energetisch sehr gute Anlagen

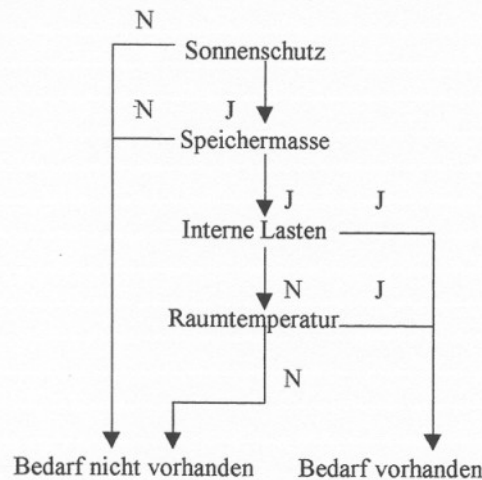
Sind alle anderen Kriterien nicht erfüllt, so kann durch Energieoptimierung trotzdem ein Nachweis erbracht werden.

Es sind folgende Wertungen vorzunehmen:

- Thermische Energie Wertigkeit 1
- Elektrische Energie Wertigkeit 3

Das Programm SIA_03

Für Teilbereiche des Nachweises für einen Bedarf für Kühlung ist eine **dynamische Simulation erforderlich**. Dies ist nur mit einem entsprechenden Programm möglich. Ein mögliches Programm ist das IDEA mit dem entsprechenden Zusatzmodul (SIA_03). Die eigentliche Simulation wird hierbei mit Hilfe des DOE-2 durchgeführt. Das Programm funktioniert nach dem folgenden Ablaufschema:



Die Eingabe der notwendigen Daten erfolgt in der Regel mit dem Programmteil SIA382/2. Aus diesem kann dann der zu berechnende Raum übernommen werden. Es müssen dann allerdings noch einige Daten ergänzt werden:

Koordinaten

Das DOE-2 Koordinatensystem enthält drei Stufen:

- Gebäudekoordinatensystem
- Raumkoordinatensystem
- Wandkoordinatensystem

Gebäudekoordinaten

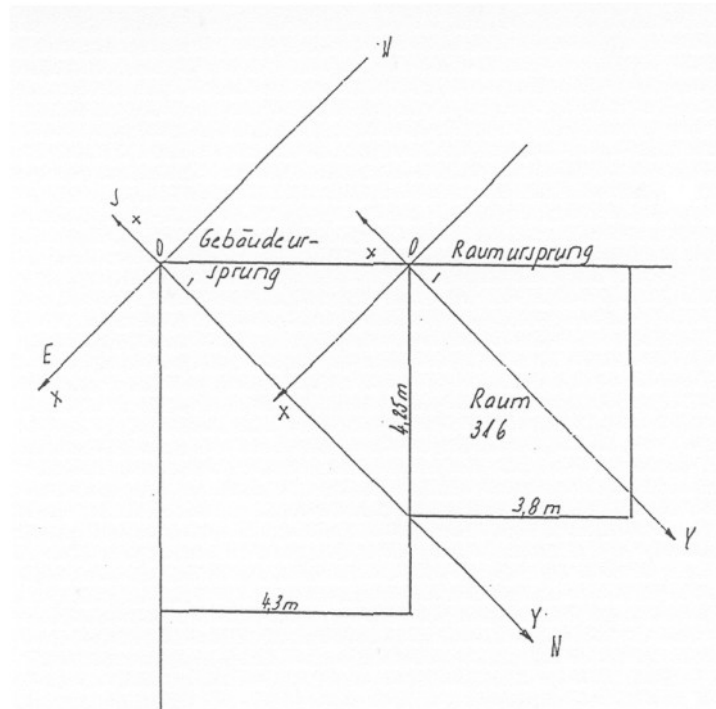
Sie werden im ersten Eingabefenster zugeführt. Sie werden als **Gebäudeursprung** bezeichnet. Sie bestehen aus:

- Breitengrad
- Längengrad
- Azimuth des Gebäudes

Der Azimuth ist die Gebäudedrehung zwischen y-Achse und der Nordrichtung.

Raumkoordinatensystem

Hier positioniert man den Raum im Gebäudekoordinatensystem. Dazu wird eine beliebige Ecke des Raumes als Raumursprung bezeichnet.



nach S => +
nach N => -
nach E => -
nach W => +

Wandkoordinatensystem

Hier werden Türen und Fenster in einer Wand positioniert. Bei Fenstern kann ein Zurückversetzungsmass (von aussen) eingegeben werden. Das DOE-2 berücksichtigt dann den Schattenwurf.

Für Wände, Decken und Böden muss die **Neigung** angegeben werden. Dies ist der Winkel zwischen der Flächennormalen und der z-Achse. Bei senkrechten Flächen gilt:

- Decke 0
- Wand 90
- Boden 180

(Im DOE-2 wird die Neigung mit Tilt bezeichnet)

Beleuchtung

Es gibt zwei Wahlmöglichkeiten:

- Nur eine Fensterfront
- Mehrere Fensterfronten

Wird „Mehrere Fensterfronten“ gewählt, so erfolgt die Definition der Referenzpunkte. Dies sind Punkte, an denen bei der Simulation ein prozentualer Anteil der Beleuchtung reguliert wird. Wird an einem Referenzpunkt die vorgegebene Beleuchtungsstärke unterschritten, schaltet die Beleuchtung ein, wobei unter verschiedenen Regulierungsarten gewählt werden kann. Diese Referenzpunkte müssen im Raumkoordinatensystem positioniert werden.

Nutzung und System

Es kann unter drei Nutzungsarten gewählt werden:

- **Standardnutzung.** Es werden die Werte und Fahrpläne der SWKI Empfehlung 95-3 verwendet
- **Büro.** Es wird mit den vom BEW empfohlenen Werten gerechnet.
- **Benutzerdefiniert.** Es können eigene Werte und Fahrpläne definiert werden.

Beim System wird unter **Fensterlüftung** und **mechanischer Lüftung** unterschieden. Bei der mechanischen Lüftung erfolgt die Simulation mit einer **Nachtauskühlung**.

Nachweis

Beim starten der Simulation wird zuerst das im Hintergrund erstellte Input File überprüft. Bei fehlenden Daten oder Fehlern wird der Ablauf unterbrochen.